

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平11-503571

(43) 公表日 平成11年(1999) 3月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/22  
21/265  
29/861H 0 1 L 21/22  
21/265  
29/91E  
Z  
F

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平8-530948  
 (86) (22) 出願日 平成8年(1996) 4月9日  
 (85) 翻訳文提出日 平成9年(1997) 10月9日  
 (86) 国際出願番号 P C T / S E 9 6 / 0 0 4 5 1  
 (87) 国際公開番号 W O 9 6 / 3 2 7 3 8  
 (87) 国際公開日 平成8年(1996) 10月17日  
 (31) 優先権主張番号 9 5 0 1 3 1 0 - 8  
 (32) 優先日 1995年4月10日  
 (33) 優先権主張国 スウェーデン (S E)  
 (81) 指定国 E P (A T, B E, C H, D E, D K, E S, F I, F R, G B, G R, I E, I T, L U, M C, N L, P T, S E), J P, U S

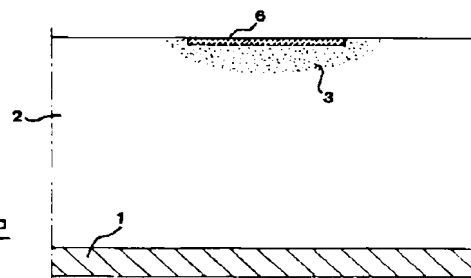
(71) 出願人 エービービー リサーチ リミテッド  
 スイス国 シーエイチ-8050 チューリッ  
 ヒ, ビー. オー. ボックス 8131  
 (72) 発明者 ハリス, クリストファー  
 スウェーデン国 エス-191 27 ソレン  
 ツナ, オルガニストグランド 34  
 (72) 発明者 コンスタンチノフ, アンドレイ  
 スウェーデン国 エス-581 31 リンケ  
 ビング, アレンデガタン 37:23  
 (72) 発明者 ジャンゼン, エリク  
 スウェーデン国 エス-590 30 ボレン  
 スベルグ, イゲルコットスベージェン 6  
 (74) 代理人 弁理士 浅村 皓 (外3名)

(54) 【発明の名称】 不純物ドーパントのS i C中への導入方法、この方法で形成した半導体デバイス及びS i C中へのドーパント拡散源としての高度ドーピング非晶質層の使用

(57) 【要約】

S i Cの半導体層(2)へのドーパント導入方法は、低温で半導体層(2)へドーパントをイオン注入する工程a)から成るイオン注入工程a)はドーピング非晶質表面近接層(6)を形成させるように実施し、工程a)の後で表面近接層に続く半導体層の非注入下層中にドーパントが拡散する高温での半導体層の焼鈍工程を実施する。

Fig 2



## 【特許請求の範囲】

1. 低温で半導体層(2)へドーパントをイオン注入する工程a)を含む、SiCの半導体層(2)へ不純物ドーパントを導入する方法において、イオン注入工程a)はドーピングされた非晶質表面近接層(6)を形成するように実施すること；及び工程a)の後で、表面近接層に続く半導体層の非注入下層の中にドーパントが拡散する高温で半導体層を焼鈍する工程b)を実施することを特徴とする方法。

2. 表面近接層(6)が高度にドーピングされて非晶質となる量でドーパントのイオン注入を行って表面近接層を注入工程で非晶質化する、請求項1記載の方法。

3. 注入工程においてドーパントをSiCの非晶質化限界未満の濃度で注入し、次いで表面近接層(6)を不活性種の注入で非晶質化する、請求項1記載の方法。

4. Ar、Si又はCを不活性種として注入する、請求項3記載の方法。

5. 工程b)の焼鈍は、ドーパントが下層中に深く拡散して、拡散済みドーパントが導入された下層の領域(3)の厚さが注入済み表面近接層(6)の厚さよりも厚くなる高温と時間とで実施する、請求項1～4のいずれか1項に記載の方法。

6. SiCの半導体層(2)は低度ドーピングされていて、第1の伝導型であり、ドーパントは第2の逆伝導型であり、工程b)はグレードpn-接合が注入済み表面近接層(6)外の下層中に形成するように実施する、請求項1～5のいずれか1項に記載の方法。

7. P型導電性ドーパントを工程a)で注入する、請求項6記載の方法。

8. ホウ素イオンを工程a)で注入する、請求項7記載の方法。

9. アルミニウムイオンを工程a)で注入する、請求項7記載の方法。

10. 工程a)は注入エネルギーを変えていくつかの副工程に分けて実施していろいろの深さのところで高濃度のドーパントを形成させ、高度にドーピングされた非晶質表面近接層(6)をかなりの厚みのある容積で形成させる、請求項2又は5～9のいずれか1項に記載の方法。

11. 工程 a) の注入は、 $10^{15} \text{ cm}^{-2}$  よりも高いドーパント表面濃度を形成させる量で実施する、請求項 2 又は 5 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

12. 工程 a) の注入は、実質的に  $10^{16} \text{ cm}^{-2}$  以上のドーパント表面濃度を形成させる量で実施する、請求項 2 又は 5 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

13. 工程 a) の注入は、 $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  よりも高いドーパント濃度を表面近接層 (6) 中に形成させる量で実施する、請求項 2 又は 5 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の方法。

14. 工程 a) の注入は、 $10^{20} \text{ cm}^{-3}$  よりも高いドーパント濃度を表面近接層 (6) に形成させる量で実施する、請求項 2 又は 5 ～ 13 のいずれか 1 項に記載の方法。

15. 工程 a) の注入エネルギーは  $0.1 \mu\text{m}$  よりも厚い厚さで注入表面近接層 (6) を形成させるように選択する、請求項 1 ～ 14 のいずれか 1 項に記載の方法。

16. 半導体層は、注入中  $400 \text{ K}$  以下の温度に維持する、請求項 1 ～ 15 のいずれか 1 項に記載の方法。

17. 半導体層は、 $1500^\circ\text{C}$  以上の温度で焼鈍する、請求項 1 ～ 16 のいずれか 1 項に記載の方法。

18. 半導体層は、 $1700^\circ\text{C}$  以上の温度で焼鈍する、請求項 1 ～ 17 のいずれか 1 項に記載の方法。

19. 請求項 1 ～ 18 のいずれか 1 項に記載の方法を実施して形成した SiC の半導体層を有する半導体デバイス。

20. 注入済み焼鈍表面近接層がその接触点を形成する、請求項 19 記載のデバイス。

21. SiC 半導体層中へのドーパント拡散源として、SiC の半導体層の高度にドーピングされた非晶質表面近接層 (6) を使用する方法。

## 【発明の詳細な説明】

不純物ドーパントのSiC中への導入方法、この方法で  
形成した半導体デバイス及びSiC中へのドーパント  
拡散源としての高度ドーピング非晶質層の使用

発明の技術分野と先行技術

本発明は低温で半導体層中にドーパントをイオン注入する工程a)から成る、不純物ドーパントのSiCの半導体層中への導入方法と、この方法の実施で製造した半導体デバイスに関する。

かかるイオン注入技術は、あらゆる型式の半導体デバイス、例えばいろいろな型式のダイオード、トランジスター、サイリスターの製造に用いられ、不純物準位と分布の両方の室温制御ができるのでデバイス製作では魅力的な技術である。この技術はSiデバイス用には充分に開発されつくしているが、かかるデバイス用イオン注入に首尾よく用いられてきたこの方法は、即ち極度の条件下でも充分に機能するSiCの性能を利用する用途で特に用いられるSiCデバイス用には利用されていない。SiCは禁止帯の幅が大きいので熱安定性が高く、例えば上記の材料から製造したデバイスは高温、即ち温度1000Kまで操作できる。更に、熱伝導率が高いので、SiCデバイスは高密度で配置できる。SiCはまたSiよりも降伏電界が5倍以上も高いので、デバイスのブロッキング状態で高電圧が発生する条件下で操作する高電力デバイス材として充分に適したものである。

従って、SiC用にもこのデバイス製造技術を制御する手段を工夫して欠陥密度が低い高品質ドーピング領域をイオン注入によりSiC中につくることが切望されてきた。

米国特許第3,629,001号明細書は導入方法を開示する。この方法ではイオンを室温でSiC中に注入し、次いで注入表面近接層を1200°~1600°の温度で焼鈍して注入済み不純物イオンを電気的に活性化している。このようにして形成した表面近接層の結晶性は目的とするものよりも、またSiデバイス製造用のイオン注入技術を用いて達成されるものよりも良くないことが判った。

また、Si デバイス製造技術で成功したイオン注入を非晶質表面近接層が形成できる量で実施し、次いでこの層の焼鈍を実施することを記載しているが、これはこの非晶質層が焼鈍中に層の固相エピタキシー又はエピタキシャル再成長して高品質の再結晶層となるからである。しかし、この技術はSiCでは有用でないことが判った。即ち、この非晶質層の焼鈍により炭化ケイ素の多結晶形又は炭化ケイ素の欠陥のある単結晶が生ずるからである。

#### 発明の概略

本発明の目的は本明細書の冒頭に記載した型式の方法を提供することにある、低欠陥密度の極めて低いドーピング層をSiC中につくるのにイオン注入技術が使用できる。

本目的は、本発明により、イオン注入工程a)をドーピング非結晶表面近接層が形成されるように実施し、工程a)の後、ドーパントがこの表面近接層に続く半導体層の非注入下部層中に拡散する高温でこの半導体層を焼鈍することにより達成する。

本発明の方法ではpn接合と極めて高品質のドーピングSiC層が得られ、活性SiC層。形成は、焼鈍段階でイオンビームで損傷されていない、より深いところの結晶領域中へドーパントを拡散させることにより行なう。イオン注入によるSiC内での非晶質表面近接層の生成は高品質層とpn接合の生成に極めて有用であることが判った。非晶質層の生成は事実本発明の長所を得る鍵である。非晶質層が形成する量よりも十分に少ない量でのイオン注入ではむしろ遅い無秩序焼鈍が行われ、注入ドーパントの大半は外方に拡散する。更に、注入で生じた点欠陥が非注入領域中に拡散し、注入領域外でも材料の品質が低下する。一方、表面近接層が非晶質化すると、再成長機構の差のため非晶質化層内の注入により誘起された欠陥が再結晶化により急速に除去され、注入済みドーパントのかかなりの部分が活性化する。残留欠陥はクラスターの形、又は拡散しない拡大欠陥の形をとる傾向がある。

本発明の好ましい実施態様では、表面近接層が高度にドーピングされて非晶質化する量でドーパントをイオン注入することより注入時に表面近接層が非晶質化される。このため、表面焼鈍後に高伝導性が得られ、抵抗率が低く、品質のよい

オーム接触が得られる。更に、この高度にドーピングされた表面近接層は、ドーパントが下層へ拡散するための、ドーパントの貯蔵所又は源泉として機能し、一方、焼鈍中はドーパントが電氣的に活性化され、ドーパントの非注入下層への拡散速度を高める。

本発明の別の好ましい実施態様では、ドーパントは注入時にSiCの非晶質化限界以下の濃度で注入され、次いで表面近接層は不活性種に注入により非晶質化する。かかる不活性種の例としてはAr、Si又はCが列挙される。かかる技術は低ドーピング濃度が要求されるところでもっぱら利用される。

この抑制非晶質化を用いることで2つの問題が同時に解決され、順バイアス下では低デバイス抵抗率が得られ、逆バイアス下では低漏れ電流と高破壊電圧が得られる。

再結晶層の無秩序は全部が除去される訳ではなく、若し非晶質化域と基板との界面でpn接合を形成させるときは、米国特許第3629011号の出願人が得たような低品質デバイスが得られる。

本発明の好ましい実施態様では、SiCの半導体層は低度ドーピングであり、第1の伝導型であり、ドーパントは第2の反対伝導型であり、工程b)は注入される表面近接層外の下層中にグレードpn接合が形成するように実施する。この方法を用いることで、イオン注入でかなり損傷した域から十分に離れたところでグレードpn接合を形成でき、この接合は品質の優れたものになる。

アクセプターイオンを注入すれば、SiC半導体層の最上層中 $10^{18}\text{cm}^{-3}$ よりも低いn-ドーパント濃度により損傷焼鈍中の注入ドーパントの拡散が大きくなるため、結晶中より深い所までpn接合を形成できることが判った。

本発明の別の好ましい実施態様では、工程a)ではホウ素イオンを注入する、ホウ素はSiC中での拡散性が高く、焼鈍により容易に活性化されるので、イオン注入によりSiC中にP型の高品質層を形成させるのに極めて有用であることが判った。

更に好ましい実施態様では、Alイオンを注入する。Alの拡散性はBよりも低い、前記の技術を用いて十分にpn接合を遠くに形成することができる。Alの活性化エネルギーが低いため、Alは好ましいドーパントである。

本発明の更に好ましい実施態様では、工程 a) は注入エネルギーを変えていくつかの副工程に分けて実施していろいろの深さのところで高濃度のドーパントを形成させ、高度ドーピング非品質表面近接層をかなりの厚みのある容積で形成する。下層に拡散させて高品質のドーピング層を形成させる多量のドーパント元素を有するドーパント貯蔵所を形成させるのにこの技術を使用できる。

本発明の更なる実施態様では、半導体層を 1700℃ よりも高温で焼鈍すると、ドーパントの下層への拡散は満足するものが得られる。

また、本発明は、請求の範囲に記載のいずれかの方法を実施することにより形成した SiC の半導体層を有する半導体デバイスを提供する。かかる半導体デバイスは上記の理由から極めて品質の高いドーピング半導体層を有している。

本発明の好ましい実施態様では、かかるデバイスの注入済み焼鈍表面近接層は接点形成に使用できるので、この再成長損傷表面の性質を良好な接点として利用できる。

また、その結果として本発明は SiC の半導体層中への新しい形のドーパント拡散源、即ち、半導体層の高度にドーピングされた非品質表面近接層の使用にある。

かかるドーパント拡散源はドーパントの拡散速度を高め、ドーパント拡散は精確に制御できる。

本発明の更に好ましい特徴と長所は以下の記載とその他の従属請求項から明らかとなる。

#### 図面の簡単な説明

添付図面を参照して、実施例として示す本発明の好ましい実施態様を以下具体的に説明する。

図中、図 1 と図 2 は本発明の好ましい実施態様に基づく SiC の半導体層中に不純物ドーパントを導入して、整流器ダイオードの形の半導体電力デバイスを形成する方法の異なる工程を略図的に示す。

#### 発明の好ましい実施態様の詳細な説明

図 1 と図 2 は電力ダイオード製造用の SiC の半導体層中に不純物ドーパントを導入する本発明の方法の多数の工程のうちの 2 つの重要な主要工程を図示する

ものである。このデバイスの層は全てSiCから成るが、不純物ドーパントをイオン注入により導入するこれ以外の半導体層はSiC以外の材料から成る半導体層であり、これらは本発明の範囲に含まれる。このようにして形成され、図2に略図的に示すデバイスはドーピングされた異なる3層、即ち、第1の高度にドーピングされた層1（好ましくは基板を形成し、図2に図示していないデバイスのオーム接触金属板との低抵抗接点を形成するN型伝導性のもの）と、この上に配置された第2の低度ドーピングされたN型伝導性の厚い層2と、第2の層中及びその層上に配置された第3のP型伝導性の薄い層3（第2層との界面でのpn接合形成用）があり、これは本発明の方法で形成される。これらの3層を有する整流器ダイオードでは、空間電荷領域は種として第2の低度ドーピングされた層2であり、この層はデバイスの逆向き操作でデバイス上に印加された電圧の大部分を引受けるもので、かかるデバイスは破壊電圧がkV範囲内にある。

図1、図2を参照しながら、本発明の方法を説明する。SiC層2の頂部はマスク材4で被覆されており、マスク材4はマスク材の中央域5（ここにイオンを注入する）のSiC層を露出させるためエッチングされている。マスクは本方法の焼鈍工程での高温に耐えるAlNから成ることが好ましいが、別のマスク材を用いてもよい。マスク材は焼鈍前に除去が必要となる。好ましくは反応性イオンエッチング（RIE）でマスク材を除去した後、SiC層2のこの中央域5中にイオンを加速下注入する。イオンはアルミニウム又はホウ素イオンが好ましい。Alはそのイオン化エネルギーが低いので好ましく、Bは拡散が高く、活性化挙動が良いという長所がある。中央域5のイオン打込みに用いるエネルギーは100keV～300keVの範囲内が好ましい。いろいろな深さの所で高濃度のドーパントを形成させ、高度ドーピング表面近接層をかなりの厚みのある容積で形成させるため、注入は注入エネルギーを変えて幾つかの副工程に分けて多数回注入を行う形で実施するのが好ましい。注入は形成する表面近接層6を非晶質化する量で実施し、これを達成させる閾値はドーパント表面濃度で約 $10^{15}\text{cm}^{-2}$ である。注入はドーパント表面濃度が実質的に $10^{16}\text{cm}^{-2}$ となり、表面近接層の容積濃度が $10^{19}\text{cm}^{-3}$ よりも高く、好ましくは $10^{20}\text{cm}^{-3}$ よりも高い量で実施するのが好ましい。このようにして形成した高度ドーピング非晶質表面近接層は厚みが



約 $0.25\mu\text{m}$ である。これらの多量のイオン注入で非品質表面近接層が形成されて、拡大欠陥がこの層内にクラスターの形で生じる。

注入は低温、即ち、 $400\text{K}$ よりも低い温度、好ましくは常温、即ち、室温に近い温度で実施する。

注入工程のあと、例えばRIEでマスク材除去工程を行ってもよく、又は焼鈍工程の後でマスクを除去してもよい。または、マスクが焼鈍しても劣化しないときは、そのまま残してデバイスの表面不動態化部とする。焼鈍工程は、表面近接層6に注入したドーパントを充分活性化するだけでなく、表面近接層に続いた半導体層2の非注入下層内に深く拡散させて、拡散ドーパントを受入れた下層域が低度ドーピング半導体層2とのグレードp-n接合を損傷表面近接層6から充分離れた所に形成させる温度と時間で実施する。これは好ましくは $1700^{\circ}\text{C}$ の焼鈍温度を意味する。焼鈍によりドーパントの非注入下層への拡散が向上する。非品質高度ドーピング層6がその層でのドーパント濃度が高いため高拡散速度のドーパント貯蔵所として機能するからである。更に、クラスターの形で表面近接層6に存在する欠陥はこの注入層からは拡散しないので、形成された第3の層3は欠陥が殆どない極めて良好な状態にある。このようにして形成されたこの第3の層3は図2では点で示されている。この層の厚さは約 $0.5\mu\text{m}$ とすることができる。この拡散層のドーピング縦断面で、ホウ素原子濃度を表面近接層6の近くでは約 $10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、表面近接層から一番遠い所では $10^{16}\text{cm}^{-3}$ とすることができる。

更に、表面近接層6の焼鈍でこの損傷層は再成長するが、その品質はそれ自体がp-n接合として機能するには充分では、この損傷面は良接点となり、本方法の実施してつくられるデバイス用の接点として用いられる。また、焼鈍後、適切なあらゆる技術でこの表面近接層6を除去することもできる。

明解を目的として、層1、2、3、6とマスク4は実際のものとは異なる割合で示してあり、層1と2の厚さは典型的にはそれぞれ約 $5\mu\text{m}$ と $25\sim 40\mu\text{m}$ 又はそれ以上の範囲にある。

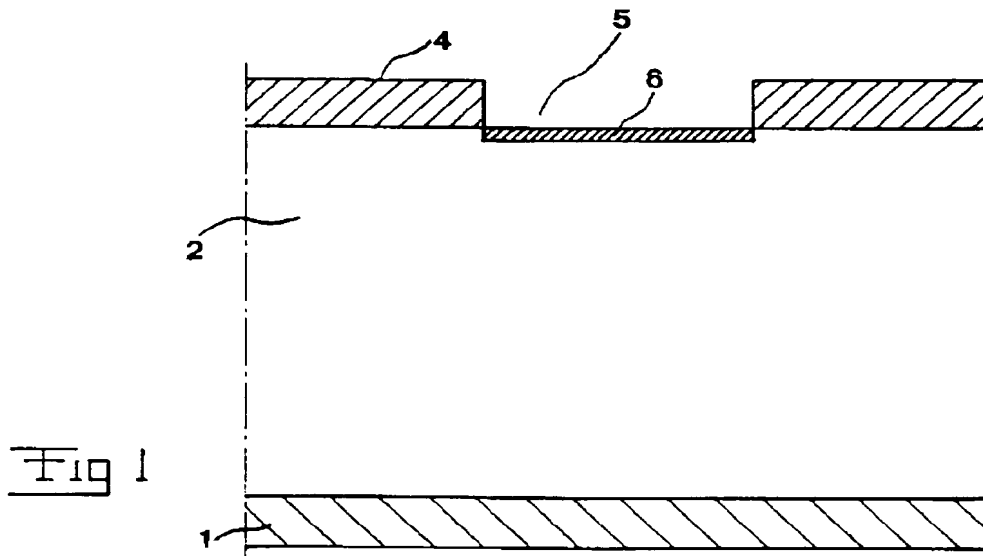
勿論、本発明は上記の好ましい実施態様に何等限定されるものでなく、そのいくつかの改変が可能なことは当該技術分野の通常の技量を有する者にとって本発明の基本的概念から明白である。

本発明の方法はp-n接合の形成だけでなく、あらゆる型のSiC半導体層中への不純物ドーパントの導入、特にp-ドーピング層を要求されるものに適用される。接触層の形成はその別の適用例である。本発明はp型ドーパントの注入に適切な技術について記載してきたが、n-型注入は同様の手段によって達成できるか、n-型注入は十分に確立された技術であって、適切な品質のデバイス層を造るための前述の方法は必要としない。

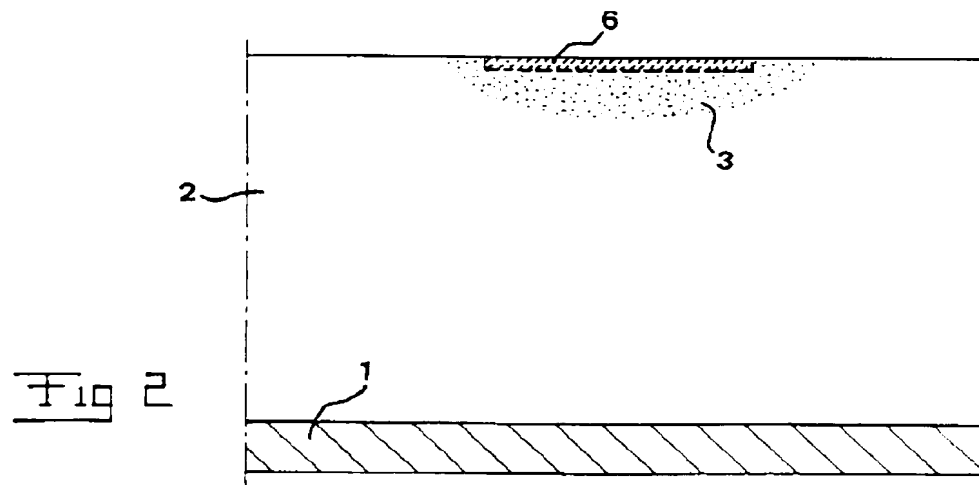
用語「SiC層」は、このSiC層が図示した幾つかの下層から成るものを含む。更に用語「層」は広義に解釈するものとし、あらゆる型の容積拡大したものと形のものを含む。

勿論、いろいろの層の材料に関する用語は全て不可避的不純物とSiCでの意図的ドーピングを含む。

【図1】



【図2】



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/SE 96/00451

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
IPC6: H01L 21/265, H01L 21/22 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC6: H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
SE,DK,FI,NO classes as above		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
DIALOG: 2, 350, 351, 434		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5322802 A (BALIGA ET AL), 21 June 1994 (21.06.94), column 4, line 35 - column 6, line 43; column 7, line 3 - column 8, line 63, figure 3, claims 1-4 --	1-21
X	US 5286660 A (CHIOU ET AL), 15 February 1994 (15.02.94), column 3, line 1 - column 6, line 3, figures 1-4 --	1-21
A	US 5270244 A (BALIGA), 14 December 1993 (14.12.93), column 2, line 54 - column 3, line 21, figure 1, claim 1 --	1-5,10-21
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document that published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
27 August 1996		28 -08- 1996
Name and mailing address of the ISA/ Swedish Patent Office Box 5055, S-102 42 STOCKHOLM Facsimile No. -46 8 666 02 85		Authorized officer:  Pär Moritz Telephone No. -46 8 782 25 00

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/SE 96/00451

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No
A	US 5364810 A (KOSA ET AL), 15 November 1994 (15.11.94), column 6, line 43 - column 7, line 18; column 14, line 33 - line 40, figures 6,20 --	1,6-9
A	US 4789644 A (MEDA), 6 December 1988 (06.12.88), column 3, line 36 - line 49, figures 6,7 --	1-5,10-21
A	US 3629011 A (ATSUTOMO TOHI ET AL), 21 December 1971 (21.12.71) -- -----	1-5,10-20

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

31/07/96

International application No.  
PCT/SE 96/00451

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A- 5322802	21/06/94	AU-A- 6090694 EP-A- 0693222 US-A- 5338945 WO-A- 9417547	15/08/94 24/01/96 16/08/94 04/08/94
US-A- 5286660	15/02/94	NONE	
US-A- 5270244	14/12/93	NONE	
US-A- 5364810	15/11/94	JP-A- 8088328 US-A- 5416736	02/04/96 16/05/95
US-A- 4789644	06/12/88	DE-D, T- 3688929 EP-A, B- 0227085 JP-B- 6040582 JP-A- 62247572	23/12/93 01/07/87 25/05/94 28/10/87
US-A- 3629011	21/12/71	DE-A, B, C 1794113 FR-A- 1584423 GB-A- 1238729 NL-A- 6812865 US-A- 3829333	16/03/72 19/12/69 07/07/71 13/03/69 13/08/74